

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ

НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА

Вип. 66

Зареєстровано 22.04.97 р. серія ХК № 457 Головним комітетом інформації Харківської обласної державної адміністрації, перереєстровано 23.11.2010 р. серія КВ №17253-6023 ПР Міністерством юстиції України та Постановою Президіуму ВАК України №1-05/8 від 22.12.2010 р.

Харків
ХДТУБА
ХОТБ АБУ
2011

Анотація

Вісник включає статті вчених України, в яких висвітлюються результати фундаментальних та прикладних досліджень з пріоритетних напрямків: охорона навколишнього середовища, ресурсозберігаючі технології в будівництві та будівельної індустрії, нові будівельні матеріали та конструкції, підвищення ефективності капітальних вкладень, підвищення рівня механізації та автоматизації виробничих процесів.

Для наукових працівників і спеціалістів у галузі будівництва.

Бажаючі будівельні фірми та підприємства можуть розмістити в ньому свою рекламу.

Аннотация

Вестник включает в себя статьи ученых Украины, в которых освещаются результаты фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям: охрана окружающей среды, ресурсосберегающие технологии в строительстве и строительной индустрии, новые строительные материалы и конструкции, повышение эффективности капитальных вложений, повышение уровня автоматизации и механизации производственных процессов.

Для научных работников и специалистов в области строительства.

Желающие строительные фирмы и организации могут разместить в нем свою рекламу.

Редакційна колегія: д-р техн. наук Д.Ф.Гончаренко (головний редактор), д-р техн. наук О.Л.Шагін, д-р техн. наук В.В.Фурсов, д-р техн. наук В.С.Шмуклер, д-р техн. наук О.Ф.Редько, д-р техн. наук С.М.Епоян, д-р техн. наук О.І. Вайнберг, д-р арх-ри О.О. Фоменко, д-р арх-ри В.І.Кравець, д-р арх-ри В.П.Міроненко, канд. техн. наук Сопов В.П. (відповідальний редактор), Т.І.Ейдумова (відповідальний секретар)

Затверджено до друку згідно протоколу засідання Вченої ради ХДТУБА №3 від 25.11.2011 р.

Адреса редакційної колегії: 61002, Харків-2, Сумська, 40, ХДТУБА, тел. 7000-651

©Харківський державний
технічний університет
будівництва та архітектури
2011

©Харківське обласне
територіальне відділення
Академії будівництва
України, 2011

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кривоногов Е.М. Особенности архитектурно-планировочной организации курортных комплексов в сложных инженерно-геологических условиях (на примере ЮБК). - Дис. ... канд. арх. - Киев, 1986. - 149с.
2. Разработка научного обоснования оценки стоимости застройки районов первоочередного освоения г.Ялта // Промежуточный отчет. КраевНИИпроект - науч. рук. А.Г.Гагаркин. - Н-3-15 / Д-27-44. - ГР.№ 01.83.0015503. - Инв.№ 0285.0026377. - Симферополь, 1984. - 78с.
3. Филиппович И.Н. Террасные жилые дома на сложном рельефе в курортной и городской застройке (Объемно-планировочные решения) // Обзор. Зарубежный опыт строительства. - ЦНИИС Госстроя СССР. - М., 1977. - 49с.
4. СНиП II-A.12-69* «Строительство в сейсмических районах». - М.: Стройиздат, 1977. - 56с.
5. СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах». - М.: АЛП ЦИТПЛ 1991. - 50с.
6. СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах». - М.: Госстрой России, 2002. - 44с.
7. Шмуклер В.С., Климов Ю.А., Бурак Н.П. Каркасные системы облегченного типа - Харьков: Золотые страницы, 2008 - 336стр.

УДК 691.58.668.3

Зелотов М.С., Шишкин Э.А., Скляр В.А., Равина К.А.

Харьковская национальная академия городского хозяйства

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КЛЕЕВОЙ АНКЕРОВКИ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ СЕРПОВИДНОГО ПРОФИЛЯ

Рассматривается решение асимметричной задачи теории упругости для случая заделки арматурных стержней в бетон серповидного профиля приклеиванием клеем, позволяющее определить напряжения и деформации как на контактах клеев-анкер и клеев-бетон, так и в теле бетона. При этом учитывается, что при длительном нагружении, поведение приклеиваемых клеев согласуется с линейной теорией ползучести. Приведены результаты расчетного эксперимента.

Належить рішення асиметричної задачі теорії еластичності для випадку закладення арматурних стержнів в бетон серповидного профілю приклеюванням клею, що дозволяє визначити напруження і деформації як на контактах клею-анкер і клею-бетон, так і в тілі бетону. При цьому враховується, що при тривалому навантаженні, поведінка приклеюваних клеев узгоджується зі лінійною теорією повзучості. Приведені результати розрахункового експерименту.

The solution of axisymmetrical task of the theory of elasticity for the case of embedment of reinforcement bars into concrete of crescent type by acrylic glues, allowing to determine tensions and deformations both on contacts glue-anchor and glue-concrete and in the concrete body has been proposed. It has been taken into account that at long-term loading the behaviour of acrylic glues co-ordinates the linear theory of creep. The results of calculation experiment are presented.

Ключові слова: арматурний стержень, серповидний профіль, бетон, приклеюваний клей, напруження, деформація.

В условиях реконструкции промышленных зданий и сооружений возникает необходимость надежного крепления конструкций в кратчайшие сроки без остановки производственных процессов. Такие конструктивные соединения возможно выполнить с использованием полимерных клеев, в том числе акриловых клеев.

В связи с использованием в Украине в строительном производстве арматурной стали серповидного профиля согласно ДСТУ 3760:2006 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций» [1] в Харьковской национальной академии городского хозяйства проведены экспериментальные исследования прочности и деформативности анкеровки арматурных стержней указанного профиля в бетон акриловыми клеями разных составов. Необходимость этих исследований была определена результатом сравнительных аналитических исследований геометрических характеристик арматурных стержней класса А-III и серповидного профиля А500С. В ходе этих исследований получены модульные значения шага ребер арматурных стержней (табл.1).

Таблица 1 - Геометрические характеристики арматурных стержней класса А500С и АIII

№ профиля	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25
шаг по ДСТУ	4,5	6,0	6,3	7,5	8,8	10,0	11,3	11,6	12,8	14,5
шаг по ГОСТ	5,0	5,0	7,0	7,0	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Λ в шаге	0,5	1,0	0,7	0,5	1,8	2,0	3,3	3,6	4,8	6,5

В поперечном разрезе стержня для определения площади зацепления непосредственно самих ребер получены следующие значения:

$\varnothing 25$ А-III ГОСТ 5781-82* $S = 1,201 \text{ см}^2$;

$\varnothing 25$ А500С ДСТУ 3760:2006 $S = 0,605 \text{ см}^2$;

$\varnothing 20$ А-III ГОСТ 5781-82* $S = 0,966 \text{ см}^2$;

$\varnothing 20$ А500С ДСТУ 3760:2006 $S = 0,420 \text{ см}^2$;

$\varnothing 16$ А-III ГОСТ 5781-82* $S = 0,777 \text{ см}^2$;

$\varnothing 16$ А500С ДСТУ 3760:2006 $S = 0,263 \text{ см}^2$;

$\varnothing 10$ А-III ГОСТ 5781-82* $S = 0,323 \text{ см}^2$;

$\varnothing 10$ А500С ДСТУ 3760:2006 $S = 0,105 \text{ см}^2$.

На условную принятую погонную длину стержня, равную 10 его диаметрам $L = 10d_s$ площадь зацепления ребер имеет следующие значения:

$\varnothing 25$ А-III ($L = 10d_s = 25 \text{ см}$) $S = 1,201 \text{ см}^2 \times 31 = 37,23 \text{ см}^2$;

$\varnothing 25$ А500С ($L = 10d_s = 25 \text{ см}$) $S = 0,605 \text{ см}^2 \times 17 = 10,29 \text{ см}^2$;

$\varnothing 20$ А-III ($L = 10d_s = 20 \text{ см}$) $S = 0,966 \text{ см}^2 \times 25 = 24,15 \text{ см}^2$;

$\varnothing 20$ А500С ($L = 10d_s = 20 \text{ см}$) $S = 0,420 \text{ см}^2 \times 17 = 7,35 \text{ см}^2$;

$\varnothing 16$ А-III ($L = 10d_s = 16 \text{ см}$) $S = 0,777 \text{ см}^2 \times 20 = 15,54 \text{ см}^2$;

$\varnothing 16$ А500С ($L = 10d_s = 16 \text{ см}$) $S = 0,263 \text{ см}^2 \times 16 = 4,21 \text{ см}^2$;

$\varnothing 10$ А-III ($L = 10d_s = 10 \text{ см}$) $S = 0,323 \text{ см}^2 \times 14 = 4,52 \text{ см}^2$;

$$\varnothing 10 \text{ A500C } (L = 10d_s = 10 \text{ см}) \quad S = 0,105 \text{ см}^2 \times 16 = 1,68 \text{ см}^2.$$

Такое сравнение геометрических параметров кольцевого и серповидного арматурного проката показывает, что площадь сцепления с бетоном арматуры класса А-III значительно больше, чем арматуры класса А500С. Кроме того, у них разные значения временного сопротивления и предела текучести.

В связи с указанным в Харьковской национальной академии городского хозяйства проведены экспериментальные исследования по определению прочности анкеровки арматурных стержней класса А500С в бетон акриловыми клеями различных составов. Как показали эти исследования [2-4] прочность заделки арматурных стержней класса А500С в бетон акриловыми клеями обычных составов обеспечивается при $l_{\text{анк}} = 22,5d_s$. Использование специальных добавок увеличило прочностные характеристики акрилового клея [5], что позволило уменьшить глубину заделки указанных стержней до $17,5d_s$ (d_s — диаметр арматурных стержней) [2].

Исследования кратковременной и длительной прочности указанной анкеровки показали на их достаточную надежность. Применение таких анкерных соединений потребовало изучения их напряженного состояния при кратковременном и длительном воздействиях выдергивающих усилий на арматурный стержень (рис. 1).

Результаты исследований [5] свидетельствуют, что при длительно действующих нагрузках поведение акриловых клеев согласуется с линейной теорией ползучести [6].

При рассмотрении напряженного состояния тел вращения под действием осесимметричной нагрузки напряжения и перемещения в условиях линейной ползучести [7] могут выражаться через бигармоническую функцию А.Лява [8]:

$$\sigma_z = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ (2 - \nu) \Delta^2 \Phi - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right\}; \quad (1)$$

$$\sigma_r = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \nu \Delta^2 \Phi - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} \right\}; \quad (2)$$

$$\sigma_\theta = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \nu \Delta^2 \Phi - \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right\}; \quad (3)$$

$$\tau_{rz} = \frac{\partial}{\partial r} \left\{ (1 - \nu) \Delta^2 \Phi - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right\}; \quad (4)$$

$$u = \frac{1 + \nu}{E(t)} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r \partial z} + \int_{\tau_1}^t (1 + \nu) \frac{\Delta^2 \Phi}{\partial r \partial z} \frac{\partial}{\partial \tau} \omega(t, \tau) d\tau. \quad (5)$$

где $m = \lambda/l$; λ – корень трансцендентного уравнения.

$$\sin \lambda \cos \lambda + \lambda = 0, \quad (13)$$

l – глубина заделки арматурного стержня в бетон.

Трансцендентное уравнение (13) имеет бесчисленное множество корней:

$$\lambda_s = \xi_s + i\eta_s; s = 1, 2, 3, \dots; m_s = \lambda_s/l.$$

Поэтому функцию напряжений, удовлетворяющую граничным условиям (11), можно записать в виде ряда:

$$\sum_s D_s(t) \left\{ z \cos \frac{\lambda_s z}{l} - \frac{l}{\lambda_s} [(2\nu - 1) - \lambda_s \operatorname{tg} \lambda_s] \right\} K_0 \left(\frac{\lambda_s r}{l} \right). \quad (14)$$

С учетом ранее полученных решений [5,6], подставляя выражение (14) в (1-6), получаем уравнения для напряжений и перемещений в акриловом клее:

$$\tau_{rz} = - \sum_s D_s(t) \left(\frac{\lambda_s}{l} \right)^2 \left[\cos^2 \lambda_s \sin \frac{\lambda_s z}{l} + \frac{\lambda_s z}{l} \cos \frac{\lambda_s z}{l} \right] K_0 \left(\frac{\lambda_s r}{l} \right); \quad (15)$$

$$\sigma_z = - \sum_s D_s(t) \left(\frac{\lambda_s}{l} \right)^2 \left[\sin^2 \lambda_s \cos \frac{\lambda_s z}{l} + \frac{\lambda_s z}{l} \sin \frac{\lambda_s z}{l} \right] K_0 \left(\frac{\lambda_s r}{l} \right); \quad (16)$$

$$\sigma_r = \sum_s D_s(t) \left\{ \left(\frac{\lambda_s}{l} \right)^2 \left[\frac{\lambda_s z}{l} \sin \frac{\lambda_s z}{l} - (1 + \cos^2 \lambda_s) \cos \frac{\lambda_s z}{l} \right] K_0 \left(\frac{\lambda_s r}{l} \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{r} \frac{\lambda_s}{l} \left[\frac{\lambda_s z}{l} \sin \frac{\lambda_s z}{l} - (1 + \cos^2 \lambda_s - 2\nu) \cos \frac{\lambda_s z}{l} \right] K_0 \left(\frac{\lambda_s r}{l} \right) \right\}; \quad (17)$$

$$u = \frac{1+\nu}{E(t)} \sum_s D_s(t) \varphi_s(r, z) - \sum_s \varphi_s(r, z) (1+\nu) \int_{\tau_1}^t D_s(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \omega(t, \tau) d\tau; \quad (18)$$

$$\omega = \frac{1+\nu}{E(t)} \sum_s D_s(t) \Psi_s(r, z) - \sum_s \Psi_s(r, z) (1+\nu) \int_{\tau_1}^t D_s(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \omega(t, \tau) d\tau; \quad (19)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial \omega}{\partial z} = \frac{1+\nu}{E(t)} \sum_s D_s(t) \Psi'_s(r, z) - \sum_s \Psi'_s(r, z) (1+\nu) \int_{\tau_1}^t D_s(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \omega(t, \tau) d\tau, \quad (20)$$

где z – координата точки, в которой определяется напряжение или перемещение; $K_0 \left(\frac{\lambda_s r}{l} \right)$ – функция Макдональда;

$$\left. \begin{aligned} \varphi_s(r, z) &= \frac{\lambda_s}{l} \left[(1 + \cos^2 \lambda_s - 2\nu) \cos \frac{\lambda_s z}{l} - \frac{\lambda_s z}{l} \sin \frac{\lambda_s z}{l} \right] K_1 \left(\frac{\lambda_s r}{l} \right) \\ \Psi_s(r, z) &= \frac{\lambda_s}{l} \left[\frac{\lambda_s z}{l} \cos \frac{\lambda_s z}{l} - (1 + \sin^2 \lambda_s - 2\nu) \sin \frac{\lambda_s z}{l} \right] K_0 \left(\frac{\lambda_s r}{l} \right) \\ \Psi'_s(r, z) &= \frac{\partial \Psi_s(r, z)}{\partial z} \end{aligned} \right\}. \quad (21)$$

Рассмотрим граничные условия на поверхности контакта анкера с акриловым клеем при его выдергивании, из которых вытекают соотношения, предназначенные для определения функции $D_s(t)$. К граничным условиям относится непрерывность касательных и радиальных напряжений, относительных осевых удлинений и радиальных перемещений на контакте клей-анкер, а также равенство $\sigma_z = 0$ при $z = 0$.

Начиная с некоторого возраста $\tau_1 > \tau$ ($\tau = 10 \dots 25$ сут.), приращение модуля упругости клея прекращается, поэтому можно пользоваться асимптотическим равенством

$$n(t) = \frac{E_s}{E_t} \approx \frac{E_s}{E_{(x)}} = \frac{E_s}{E_K} = n_K. \quad (22)$$

В соответствии с [4,5] примем для меры ползучести клея следующие выражения:

$$G(t, \tau) = \varphi(\tau) [1 - e^{-\gamma(t-\tau)}]; \quad (23)$$

$$\varphi(\tau) = C_0 + \frac{A_1}{\tau}; \quad (24)$$

$$R(t, \tau) = \frac{\partial}{\partial \tau} \left\{ \frac{1}{E_\sigma} + \left(C_0 + \frac{A_1}{\tau} \right) [1 - e^{-\gamma(t-\tau)}] \right\} E. \quad (25)$$

В этих выражениях C_0, A_1, γ — константы, зависящие от состава и прочности акрилового клея и определяемые опытным путем. Структуру ядра в выражении (25) можно упростить, если рассматривать процесс ползучести акрилового клея в зрелом возрасте.

Хорошо согласуется с данными экспериментов для акрилового клея возраста более 25 сут. аналитическая зависимость меры ползучести [1]:

$$G(t - \tau) = \sum_{k=1}^m A_k l^{-\gamma_k(t-\tau)}; \quad (26)$$

$$A_k \geq 0; \gamma_0 = 0; \gamma_k \geq 0,$$

$$R(t - \tau) = - \sum_{k=0}^m A_k \gamma_k e^{-\gamma_k(t-\tau)} E. \quad (27)$$

При $k = 1$

$$R(t - \tau) = -A_1 \gamma_1 e^{-\gamma_1(t-\tau)} E. \quad (28)$$

С учетом граничных условий, приведенных ранее, выражений (23-26), а также начала отсчета времени загрузки $t = 0$ определяем функцию напряжения $D_s(t)$. Подставляем полученные значения $D_s(t)$ в формулы (15-17) и получаем значения напряжений $\tau_{rz}^{(k)}, \sigma_z^{(k)}, \sigma_r^{(k)}$ в случае предельного напряженного состояния анкерного соединения при выдергивании стержня, заделанного в бетон с помощью акрилового клея.

На рис. 2 изображены графики распределения касательных, нормальных осевых и радиальных напряжений в слое акрилового клея на контактах клей-анкер и клей-бетон.

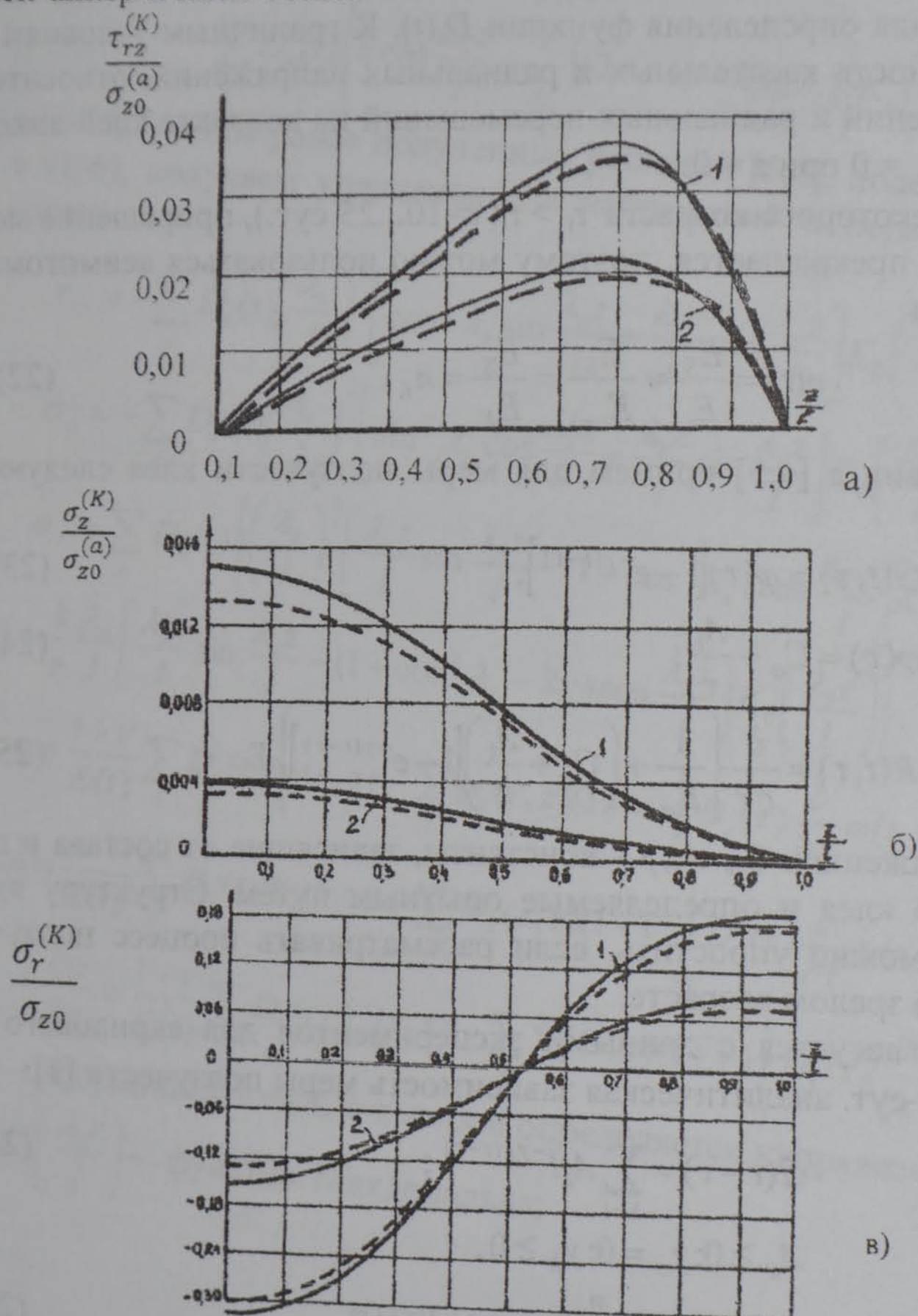


Рис. 2 - Распределение касательных (а), нормальных осевых (б) и радиальных (в) напряжений в клеевом слое на контакте клей-анкер (1) и клей-бетон (2)

Сплошными линиями нанесены кривые распределения напряжений, вычисленные для случая упруго-мгновенного приложения выдергивающего усилия, а пунктиром – кривые распределения напряжений в результате ползучести акрилового клея в течение 100 сут.

Расчет выполнен для анкерного соединения, материалы которого имеют следующие характеристики: модули упругости анкера $E_s = 2 \cdot 10^5$ МПа, клея $E_k = 8,78 \cdot 10^3$ МПа, бетона $E_b = 2,3 \cdot 10^4$ МПа, коэффициенты Пуассона $\mu_s = 0,25$, $\nu_k = 0,35$ и $\nu_b = 0,16$. Геометрические характеристики анкерного соединения: глубина заделки $l = 17,5d_s$, диаметр анкера $d_s = 2,0$ см; диаметр скважины $d_{ck} = 4,0$ см; $l_0 = 20$; $l_1 = 10$.

Напряжения в анкерном соединении на акриловом клее с учетом его ползучести в любой момент воздействия выдергивающего усилия, приложенного к анкеру, определяют по выражениям (15...17). Это даёт возможность рассчитывать названное соединение с учетом времени его эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ДСТУ 2760:2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 28 с.
2. Шутенко Л.Н. Зависимость глубины заделки арматурных стержней класса А500С от прочности акрилового клея / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, Р.Б. Ткаченко // Коммунальное хозяйство городов.: науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 2007. – Вып. 79. – С. 36-45.
3. Шутенко Л.Н. Прочность анкеровки арматуры класса А500С акриловыми клеями / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, Р.Б. Ткаченко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2008. – Вип. 16, Ч. 2. – С. 410-417.
4. Шутенко Л.Н. Длительная прочность анкеровки арматуры класса А500С акриловыми клеями / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, Р.Б. Ткаченко // Науковий вісник будівництва: Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури. – ХОТБ АБУ, 2008. – С. 110 – 114.
5. Золотов С.М. Акриловые клея для усиления, восстановления и ремонта бетонных и железобетонных конструкций / С.М. Золотов // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2003. – Вип. 59. – С. 440-447.
6. Золотов С.М. Прочность, деформативность и разрушение акриловых клеев при различных видах нагружения / С.М. Золотов // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: зб. наук. праць. – Львів: Каменярь, 2009. – Вип. 8. – С. 179-188.
7. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы ползучести / Н.Х. Арутюнян. – М.-Л.: Гостехиздат, 1952. – 276 с.
8. Ляв А. Математическая теория упругости / А. Ляв. – М.: ОНТИ НКТП СССР, 1935. – 362 с.